

# 应用速度向量成像技术评价 T2DM 患者颈动脉斑块长轴力学特征

董 叶,林红军\*

(南京医科大学第一附属医院超声科,江苏 南京 210029)

**[摘要]** 目的:应用速度向量成像技术(velocity vector imaging, VVI)评价 T2DM 患者颈动脉斑块长轴力学特征,比较其与正常人颈动脉斑块在长轴方向上速度、应变及应变率的差异。方法:将 100 例受试者按血糖水平平均分为糖尿病组和对照组,使用 Acuson Sequoia C2000 超声探测仪采集颈动脉图像资料。应用 VVI 技术检测颈动脉斑块表面 5 个感兴趣区的运动信息,获得 5 个感兴趣区速度、应变及应变率的正向峰值、负向峰值和峰值差值。结果:糖尿病组速度、应变、应变率等相应的力学指标都较正常组减小;糖尿病组和正常组组内斑块各个感兴趣区速度均是先减小再增大;糖尿病组内应变及应变率均是近心端肩部大于其余各点。结论:VVI 技术可以很好的评价 2 型糖尿病患者颈动脉斑块长轴上力学特征。

**[关键词]** 速度向量成像技术;2 型糖尿病;动脉粥样硬化;斑块;应变

**[中图分类号]** R445.1

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2014)02-234-05

doi:10.7655/NYDXBNS20140225

## Evaluation of mechanical characteristics of longitudinal section on carotid plaques in T2DM using velocity vector imaging

Dong Ye, Lin Hongjun\*

(Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of NJMU, Nanjing 210029, China)

**[Abstract]** **Objective:**To evaluate the mechanical properties of longitudinal section of carotid plaque in patients with T2DM, and compare the indexes of velocity, strain and strain rate with normal controls. **Methods:**One hundred subjects were divided equally into diabetic group and control group according to blood glucose level. Acuson Sequoia C2000 (Siemens) was used to collect the image data of carotid plaque. Velocity vector imaging technique was performed to detect the motion information of 5 regions of interest on the surface of carotid plaque, and obtain the positive peak, negative peak and peak difference of velocity, strain and strain rate. **Results:**All indexes of the diabetic group were smaller than the control group. In the two groups, the indexes of velocity were firstly decreased and then increased. And in the diabetic group, the proximal end of shoulder was greater than the remaining points for strain and strain rate. **Conclusion:** Velocity vector imaging is an effective technique for evaluating the mechanical properties of carotid plaque in patients with T2DM.

**[Key words]** velocity vector imaging; atherosclerosis; Type 2 diabetes; plaque; strain

[Acta Univ Med Nanjing, 2014, 34(02):234-238]

心脑血管并发症是 2 型糖尿病(Type 2 diabetes, T2DM)患者主要死亡原因,有研究发现糖尿病患者发生卒中的危险约是正常人的 4 倍,高血糖是缺血性脑病的独立危险因素。糖尿病患者易并发动脉粥样硬化,15%的脑梗死患者是由于颈动脉斑块脱落的碎屑或继发血栓随血流进入颅内造成脑血管栓塞<sup>[1]</sup>。因此,如何方便、快捷、无创地检测出糖尿病患

者颈动脉斑块稳定性是超声科医生和临床医生急切关心的问题。斑块的形态学与其易损性的关系已经得到广泛证实<sup>[2-3]</sup>,斑块的力学特征也备受关注,目前 VVI 技术在颈动脉斑块的力学研究主要是在短轴切面上,而动物实验证明动脉粥样硬化斑块沿血管长轴方向上的长期拉伸与弯曲与易损性斑块破裂有关<sup>[4]</sup>。本研究旨在利用 VVI 评估糖尿病患者颈动脉斑块长轴力学特征。

**[基金项目]** 卫生部科研基金(LW201001)

\*通信作者 (Corresponding author), E-mail:linhohjun0909@163.com

### 1 对象和方法

#### 1.1 对象

研究组:参照 1999 年 WHO 关于 T2DM 的诊断标准(空腹血糖 $\geq 7.0$  mmol/L,或餐后血糖 $\geq 11.1$  mmol/L),选取 2012 年 2 月~2013 年 2 月在本院进行颈动脉超声检查发现有斑块 50 例 T2DM 患者,男 35 例,女 15 例,年龄 42~83 岁,平均年龄 67.44 岁。对照组:选取 50 例颈动脉有斑块的正常人作为对照组,男 39 例,女 11 例,年龄 36~74 岁,平均年龄 61.29 岁。

入选及排除标准:两组均为有颈动脉粥样硬化斑块的患者,除有无 T2DM 的差别外,均无明显的肝肾和其他心脑血管疾病。

### 1.2 方法

使用 Acuson Sequoia C2000 (Siemens 公司,德国)彩色多普勒超声诊断仪,探头频率为 9~14 MHz,用其配套 VVI 软件进行数据分析。

受试者取平卧位休息 10 min,颈后适度垫枕,头后仰,偏向检查侧的对侧,充分暴露颈部。调节仪器的增益、深度和局部放大功能,保证帧频在 60 帧/s 以上。以孤立性血管内中膜厚度(IMT) $> 1.5$  mm 作为斑块的诊断标准。本研究中斑块均选取颈动脉分叉处作为研究对象。将存储在超声检查仪器硬盘里的图像在速度向量成像工作站中进行分析,动态观察斑块处血管运动,清晰显示内膜,选择最佳切面定帧,紧贴血管内膜面下方手工勾画出斑块及周边正常内膜的轮廓。在长轴图像中描迹斑块表面的 5 个感兴趣区(region of interest, ROI):近心端基底部正常内膜(R1)、近心端肩部(R2)即正常内膜与斑块交界处、斑块顶部(R3)、远心端肩部(R4)、远心端正常内膜(R5),选择相应的选项,软件将自动跟踪各点在全心动周期的运动轨迹(图 1)。冻结图像后手动慢速播放全心动周期各帧,确定各 ROI 在跟踪过程中未离开斑块表面,输出各 ROI 位置速度、应变及应变率 Excel 表格。手动选取 Excel 表格中 3 个全心动周期的速度(velocity, V)、应变(strain, S)及应变率(strain rate, SR)的正向峰值和负向峰值,再算出相应的峰值差值(正向峰值与负向峰值绝对值之和)。取 3 个心动周期的均数作为最后的侧值。

### 1.3 统计学方法

采用 SPSS16.0 统计软件进行分析,计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,结果均以  $P < 0.05$  为有显著性意义。两组间斑块同一位置 ROI 同一参数比较应用两独立样本  $t$  检验,两组内斑块不同 ROI 各参数比较应用单因素方差分析,本组符合 Levene 方差齐性检验并采用 LSD 检验方法进行多重比较。

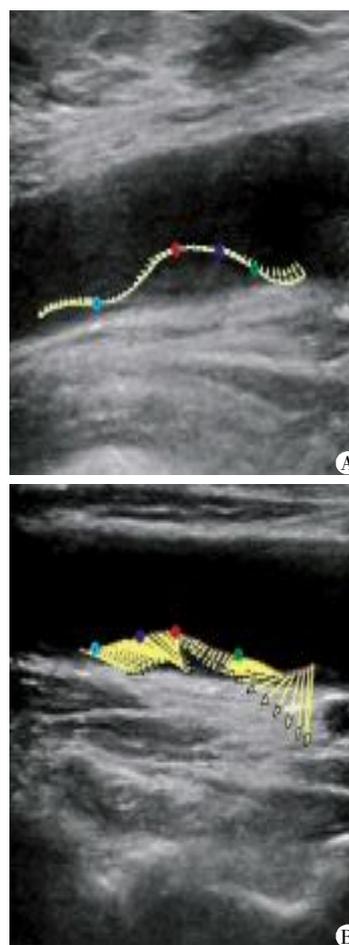


图 1 对照组(A)与糖尿病组(B)颈动脉斑块矢量运动  
Figure 1 Vector motion of carotid artery plaque in control group (A) and T2DM group (B)

## 2 结果

### 2.1 两组一般情况比较

糖尿病组的年龄、性别与对照组比较无统计学意义( $P > 0.05$ ),糖尿病组空腹血糖、餐后 2 h 血糖较对照组明显增高,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

### 2.2 两组间 VVI 各指标间的比较

糖尿病组的速度、应变及应变率等各项指标均较对照组减小(表 1)。

### 2.3 两组内斑块不同 ROI 间各 VVI 指标间的比较

#### 2.3.1 速度

糖尿病组内斑块速度均是先从 R1 到 R4 减小,再从 R4 到 R5 增大;其中 R1 点速度正向峰值、负向峰值及峰值差值与 R3、R4、R5 相对应指标比较有统计学意义( $P < 0.05$ );对照组速度正向峰值、负向峰值、峰值差值变化趋势是先减小再增大,且各 ROI 间速度比较没有统计学意义( $P > 0.05$ )。

#### 2.3.2 应变

糖尿病组内斑块应变正向峰值、负向峰值、峰值差值从R1到R2增大,R2到R4减小,再从R4到R5增大,经方差分析得出糖尿病组各ROI应变正向峰值的F值是6.908( $P = 0.029$ ),再经LSD检验比较:其中R2点应变正向峰值与R1、R3、R4、R5相对应指标比较有显著性差异( $P < 0.01$ ,表2);对照组应变正向峰值、负向峰值、峰值差值没有明显有规律的变化趋势。

### 2.3.3 应变率

糖尿病组内斑块应变率各指标变化趋势与应变表现相似(表3),经方差分析得出糖尿病组各ROI应变率正向峰值的F值8.217( $P=0.020$ ),再经LSD检验比较:其中R2点应变率正向峰值与R4点比较有显著性差异( $P < 0.05$ );对照组内斑块应变率正向峰值、负向峰值、峰值差值无明显有规律的变化趋势。

表1 两组间各指标比较

Table 1 Comparison of indexes between T2DM group and control group

( $\bar{x} \pm s$ )

VVI 指标	组别	R1	R2	R3	R4	R5
V						
正向峰值	糖尿病组	0.139 ± 0.116	0.095 ± 0.090	0.070 ± 0.066	0.069 ± 0.067	0.090 ± 0.075
	对照组	0.192 ± 0.212	0.154 ± 0.123	0.150 ± 0.107	0.149 ± 0.114	0.164 ± 0.122
V						
负向峰值	糖尿病组	0.187 ± 0.173	0.153 ± 0.145	0.105 ± 0.113	0.101 ± 0.096	0.111 ± 0.094
	对照组	0.308 ± 0.282	0.248 ± 0.214	0.221 ± 0.145	0.227 ± 0.167	0.225 ± 0.158
V						
峰值差值	糖尿病组	0.327 ± 0.284	0.248 ± 0.231	0.174 ± 0.174	0.171 ± 0.157	0.191 ± 0.161
	对照组	0.492 ± 0.500	0.409 ± 0.330	0.365 ± 0.254	0.377 ± 0.278	0.387 ± 0.275
S						
正向峰值	糖尿病组	3.166 ± 2.146	4.651 ± 4.612	2.878 ± 2.339	2.496 ± 1.762	2.758 ± 2.623
	对照组	3.379 ± 2.137	3.961 ± 2.838	3.646 ± 1.725	1.786 ± 0.971	1.885 ± 1.154
S						
负向峰值	糖尿病组	3.643 ± 5.288	3.907 ± 2.499	3.624 ± 3.011	2.175 ± 2.322	2.848 ± 2.419
	对照组	4.208 ± 3.666	5.053 ± 4.720	3.418 ± 2.180	2.736 ± 2.576	1.899 ± 1.154
S						
峰值差值	糖尿病组	6.807 ± 6.593	8.242 ± 4.956	6.493 ± 4.847	4.672 ± 3.320	5.481 ± 4.073
	对照组	7.587 ± 2.535	9.014 ± 4.680	7.065 ± 2.470	4.475 ± 3.077	3.784 ± 0.913
SR						
正向峰值	糖尿病组	0.541 ± 0.628	0.578 ± 0.324	0.414 ± 0.308	0.350 ± 0.212	0.354 ± 0.250
	对照组	0.535 ± 0.203	0.729 ± 0.304	0.440 ± 0.185	0.331 ± 0.238	0.221 ± 0.076
SR						
负向峰值	糖尿病组	0.455 ± 0.400	0.453 ± 0.226	0.425 ± 0.277	0.303 ± 0.244	0.350 ± 0.205
	对照组	0.429 ± 0.182	0.465 ± 0.323	0.473 ± 0.153	0.277 ± 0.186	0.281 ± 0.080
SR						
峰值差值	糖尿病组	0.995 ± 1.014	1.031 ± 0.451	0.839 ± 0.522	0.624 ± 0.424	0.703 ± 0.435
	对照组	0.963 ± 0.315	1.194 ± 0.607	0.912 ± 0.295	0.599 ± 0.420	0.703 ± 0.435

V:速度;S:温度 SR:应变率。

表2 两组内应变各项指标的比较

Table 2 Comparison of indexes of strain in the two groups (P值)

比较位点	应变正向峰值		应变负向峰值		峰值差值	
	糖尿病组	对照组	糖尿病组	对照组	糖尿病组	对照组
R2与R1	0.001	0.621	0.318	0.926	0.825	0.142
R2与R3	0.001	0.538	0.903	0.376	0.729	0.108
R2与R4	0.000	0.117	0.397	0.476	0.059	0.283
R2与R5	0.008	0.121	0.652	0.125	0.224	0.007

表3 两组内应变率各指标的比较

Table 3 Comparison of indexes of strain rate in the two groups (P值)

比较位点	应变正向峰值		应变负向峰值		峰值差值	
	糖尿病组	对照组	糖尿病组	对照组	糖尿病组	对照组
R2与R1	0.450	0.054	0.209	0.311	0.302	0.128
R2与R3	0.178	0.180	0.205	0.214	0.869	0.127
R2与R4	0.012	0.406	0.729	0.431	0.333	0.393
R2与R5	0.082	0.007	0.974	0.081	0.322	0.015

### 3 讨论

糖尿病可导致血管内皮损害,启动一系列现象:如释放使血小板聚集、衍生的生长因子,促使平滑肌细胞增殖、巨噬细胞迁移和脂质堆积在动脉壁。动脉粥样硬化(atherosclerosis, AS)就是正常内皮损伤后以脂质和纤维成分在大动脉壁内累积为特征的一种进展性病变<sup>[5]</sup>。糖尿病患者较正常人更容易产生动脉粥样硬化斑块,目前大多数学者认为脑血管事件的发生与动脉粥样硬化斑块破裂继发血栓的脱落及溢出的粥样物质引起的栓塞密切相关。

常规颈动脉超声作为一种无创检查,可以准确评价血管壁、管腔形态,并辨别颈动脉粥样硬化斑块的质地、探查异常血流,但对颈动脉斑块的力学特征和形变特性不能探测。而斑块破裂除了与其自身的组织生物学特性有关以外,病理性血流机械力作用是斑块破裂的外部因素。VVI技术是基于二维灰阶成像的原理,利用超声像素的空间相干性、斑点时相及边界追踪等技术,追踪感兴趣区内物体的运动,进行组织运动力学功能成像,以矢量方式显示局部组织的运动速度,获得心动周期中组织任意瞬时任意点速度、应变、应变率大小等参数,提取各位点运动矢量峰值进行分析。

既往研究中常用僵硬指数、弹性指数、膨胀性等指标作为反映动脉弹性的参数<sup>[6-7]</sup>,本组研究中选择速度、应变及应变率作为反映弹性动脉的机械特性。目前大多数文献尚未报道过斑块形态会对其力学特征产生显著性影响,且本研究中两组间斑块在形态学上无显著差异,均为表面凸向管腔,中间高,向两边渐渐延续为内膜,表面尚光整,均未发现明显的溃疡。结果发现糖尿病组各项指标都较对照组减小,说明糖尿病组斑块机械性能较正常对照组下降。

应变是指组织在力的作用下发生形变的能力,顾名思义:处于血管中的斑块要发生形变与两方面因素有关:①外部作用力;②此处斑块自身弹性(生物性能)。理论上就弹性而言,同一斑块近心端肩部的弹性要小于两侧正常内膜,本研究结果显示两组斑块近心端肩部的应变均大于同一斑块其他各点,其中糖尿病组应变正向峰值差异有统计学意义,很可能提示近心端肩部受到的作用力大于其他各点,并在糖尿病组更加明显。相对于近心端和远心端肩部而言,本文认为它们对同一作用力产生的形变的能力是相等的,即弹性是相同的,本研究结果显示近心端肩部的应变大于远心端肩部,其中应变正向峰

值这一指标具有显著统计学意义( $P = 0.000$ ),此结果也提示近心端肩部受到的力大于远心端肩部。本研究中所检测的受试者斑块顶部的应变均小于近心端肩部,但无统计学意义。综上所述本文推出同一斑块近心端肩部受力较其他各点大。孟国庆等<sup>[8]</sup>应用VVI技术也发现颈动脉粥样硬化斑块肩部稳定性较其他部位差,更易发生破裂。对此结果还可以从斑块处血流动力学角度进行分析。理论上可以认为:当血流方向与斑块表面平行,即血流方向与斑块角度等于零时,该点只处在剪切应力的简单应力状态,这也可能是斑块顶部受力不是最大的原因之一。当血流作用力的方向与斑块表面的角度不等于零时,表面作用力不仅仅是简单的应力,还有剪切应力作用,且作用区域主要为斑块的上游区域,这也解释了斑块近心端肩部应力最大, Li等<sup>[9]</sup>应用模型也得出了此观点。从病理生物力学角度分析,剪切力是循环血流作用于血管壁内皮上的摩擦力,剪切力不仅扮演着血管重构始动因子的角色<sup>[10]</sup>,而且与动脉粥样硬化斑块的形态和易损性有关<sup>[11-12]</sup>,低剪切力被认为是斑块进展的促进因素而高剪切力则与斑块破裂有关<sup>[12]</sup>。斑块近心端肩部长处于高应力及高剪切力的作用下,使局部纤维帽疲劳、弱化、变薄、不稳定<sup>[13]</sup>。Fagerberg等<sup>[4]</sup>从组织学角度证明斑块最大狭窄处两侧的组织学构成不同:与远心侧部分相比,斑块近心侧部分存在更多的巨噬细胞、斑块内出血、胶原和较少的平滑肌细胞,其易损性增加。从力学及组织学方面分析均揭示近心端肩部有可能成为斑块最易破裂处。Richardson等<sup>[14]</sup>研究含偏心脂质池的颈脉粥样硬化斑块,发现63%的斑块破裂发生在斑块肩部(斑块与正常内膜交界处)。其他研究应用不同方法得到类似结论<sup>[15]</sup>。

应变率是指组织发生形变的速度即血管发生形变的快慢。本研究中两组斑块近心端肩部应变率大于其他各处,糖尿病组斑块近心端肩部应变率正向峰值较远心端大且有统计学意义,由此笔者认为该指标与应变有异曲同工之妙,均可揭示斑块不同ROI处受力状态。

速度是指组织在力的作用下发生运动的快慢。如果也按受力大小来推论速度所代表的力学意义,则与上面述及的应变及应变率的解释不能相容,即速度大则受力大,则应该得出近心端肩部的速度最大,但研究结果却是两端正常内膜的速度高于肩部和顶部。由此本文推论:如果说应变及应变率提示斑块局部受力情况的话,则速度更倾向于解释该点作

用力和自身形变能力相互作用的结果。

综上所述,VVI技术可以很好地评价颈动脉斑块长轴力学特征,本组研究得出T2DM患者颈动脉斑块稳定性较正常组下降且其近心端肩部最容易破裂。相对于速度和应变率而言,应变可能是评价斑块稳定性较好的指标,有望依赖应变这一指标在T2DM患者发生脑血管事件之前对其进行预防。本研究的缺点在于:①目前VVI技术在心肌应变及应变率的评价方面较为成熟,现将其应用于外周动脉血管,并将所获得的速度、应变及应变率等参数对斑块的稳定性进行预测,其准确性和是否具有可重复性,有待于进一步研究;②样本量较少,未能将斑块易脱落的VVI技术中应变等参数阈值进行研究,笔者将尽量在后续工作中进一步研究以利临床应用。

#### [参考文献]

- [1] Fairhead JF, Mehta Z, Rothwell PM. Population-based study of delays in carotid imaging and surgery and risk of recurrent stroke[J]. *Neurology*, 2005, 65(3): 371-375
- [2] Prati P, Toso A, Vanuzzo D, et al. Carotid intima media thickness and plaques can predict the occurrence of ischemic cerebrovascular events [J]. *Stroke*, 2008, 39(9): 2470-2476
- [3] Ohara T, Toyoda K, Otsubo R, et al. Eccentric stenosis of the carotid artery associated with ipsilateral cerebrovascular events [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2008, 29(6): 1200-1203
- [4] Fagerberg B, Ryndel M, Kjell Dahl J, et al. Differences in lesion severity and cellular composition between in vivo assessed upstream and downstream sides of human symptomatic carotid atherosclerotic plaques [J]. *J Vascular Res*, 2010, 47(3): 221-230
- [5] Lusis AJ. Atherosclerosis [J]. *Nature*, 2000, 407(6801): 233-241
- [6] 刘荣贵, 钱蕴秋, 何光彬, 等. 高频超声对脑梗死患者颈动脉结构与功能改变的评价 [J]. *中国超声医学杂志*, 2005, 21(7): 515-518
- [7] 黄品同, 杨 琰, 邹春鹏, 等. 多普勒组织现象对脑梗死患者腹主动脉壁运动的研究 [J]. *中国超声医学杂志*, 2004, 20(12): 912-914
- [8] 孟庆国, 尹立雪, 王 珊, 等. 超声速度向量成像技术评价颈动脉粥样硬化斑块内部应变 [J]. *中国医学超声杂志: 电子版*, 2007, 4(4): 223-225
- [9] Li ZY, Howarth SP, Tang T, et al. How critical is fibrous cap thickness to carotid plaque stability? A flow-plaque interaction model [J]. *Stroke*, 2006, 37(5): 1195-1199
- [10] Cuningham KS, Gotlieb AI. The role of shear stress in the pathogenesis of atherosclerosis [J]. *Laboratory Investigation*, 2005, 85(1): 9-23
- [11] Cheng C, Tempel D, van Haperen R, et al. Atherosclerotic lesion size and vulnerability are determined by patterns of fluid shear stress [J]. *Circulation*, 2006, 113(23): 2744-2381
- [12] Groen HC, Gijzen FJH, van der Lugt A, et al. Plaque rupture in the carotid artery is localized at the high shear stress region—a case report [J]. *Stroke*, 2007, 38(8): 2379-2381
- [13] De Korte CL, Pasterkamp G, van der Steen AF, et al. Characterization of plaque components with intravascular ultrasound elastography in human femoral and coronary arteries in vitro [J]. *Circulation*, 2000, 102(6): 617-623
- [14] Richardson PD, Davies MJ, Born GV. Influence of plaque configuration and stress distribution on fissuring of coronary atherosclerotic plaques [J]. *Lancet*, 1989, 2(8669): 941-944
- [15] Li ZY, Howarth S, Trivedi RA, et al. Stress analysis of carotid plaque rupture based on in vivo high resolution MRI [J]. *J Biomechanics*, 2006, 39(14): 2611-2622

[收稿日期] 2013-06-03